

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360364

研究課題名（和文） 機能集積型触媒の表面設計とワンポット化学変換プロセスの開発

研究課題名（英文） Design of Integrated Heterogeneous Catalysts for One-pot Chemical Process

研究代表者

金田 清臣 (KANEDA KIYOTOMI)

大阪大学・太陽エネルギー化学研究センター・特任教授

研究者番号：90029554

研究成果の概要（和文）：従来の均一系触媒と不均一系触媒の両者の長所を併せもつ固体触媒の開発に向けて、無機結晶性固体をマクロリガンドとする新規固体触媒の表面設計を行い、触媒活性点のナノ構造から触媒のマクロ構造までを高次に制御した多機能集積触媒の開発を行った。さらに、持続可能な化学変換プロセスを視野に入れた新しいタイプの“モノづくり”に挑戦し、水を試剤とする触媒系や新規な脱酸素化反応系を開発した。また、一つの反応器中で複数の反応を連続して行うワンポット反応系を開発に成功した。

研究成果の概要（英文）： We have developed highly functionalized heterogeneous metal catalysts based on unique characteristics of inorganic materials such as hydroxyapatite, montmorillonite, and hydrotalcite. These inorganic crystallites are used as *macro ligands* for active metal species, which are considered as nano-structured catalyst supports. The characteristic features of these catalysts are based on the *concerto effect* between active metal species and surface properties, such as acidity, basicity, and site isolation, where cooperative catalysis by several immobilized active species on the solid surface can occur. Furthermore, we developed a novel catalyst system for deoxygenation of epoxides to olefins and one-pot multi reaction systems using these heterogeneous catalysts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：金属ナノ粒子、ワンポット反応、機能集積型触媒、マクロリガンド

1. 研究開始当初の背景

環境に調和した持続可能な循環型社会の構築を目指す新しい化学技術体系の創出は、21世紀における化学者の使命であり、(1) 原子効率の高い触媒反応、(2) 有害試薬を用いず、廃棄物を排出しないクリーンな化学プロセス、および (3) 資源の有効利用等、環境

やエネルギー問題を強く意識した革新的な物質変換法の開発が急務である。すなわち、付加価値の高い化合物を、原料物質を無駄にせず、いかに環境に負荷を与えずにつくるかという先進的な触媒反応プロセスへのブレークスルーが必要である。

そのためには、安全性・操作性・原料・工

程数・環境への影響を配慮した、“理想的な合成法”の開発とその結果、プロセスから排出される廃棄物の取り扱いや処理に必要な膨大な経費を節約する先端的な科学技術が創出され、産業界に幅広い波及効果をもたらし、中長期的にわが国の国際競争力を大きく向上させる。また、循環資源のリユース・リサイクル等の静脈機能を社会に付与するキーテクノロジーとなり、研究結果を社会へと還元できる。

本研究では、これまで開発してきた固体金属触媒の知見をもとに新規固体触媒の表面設計を行い、触媒活性点のナノ構造から触媒のマクロ構造までを高次に制御した多機能集積触媒（インテグレート触媒）の開発を通して、持続可能な化学変換プロセスを視野に入れた新しいタイプの“モノづくり”に挑戦し、ワンポット反応に代表される最適な合成ストラテジーを構築する。

2. 研究の目的

自然と共生した持続可能な循環型社会の構築には、資源の有効利用、環境やエネルギー問題を強く意識した革新的な物質変換法の開発が急務である。すなわち、環境に負荷を与えずに目的物質をつくる先進的な触媒反応プロセスに向けた革新的な固体触媒開発が必要である。本研究では、我々がこれまで独自に開発した触媒を統合し、触媒活性点のナノ構造から触媒のマクロ構造までを高次に制御した多機能集積触媒を開発する。また、新規な触媒の開発を通し高難度かつ高選択的な酸化反応や炭素-炭素結合形成反応、などを組み合わせた新規ワンポット反応経路の開発を目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、ハイドロキシアパタイト、ハイドロタルサイト、モンモリロナイトなどの無機結晶性固体を用い、Au, Ag, Pd, Rh などの貴金属元素および、Cu, Al, Mn など多種の金属元素を活性金属種として用い、含浸担持、イオン交換法などにより固体表面上に固定化した。金属ナノ粒子の調製では、分子状水素など種々の還元剤を用いて担持金属イオンの還元処理を行い、粒径制御された金属ナノ粒子の固定化を行った。

触媒のキャラクタリゼーションは、元素分析、赤外分光法、紫外可視分光法、粉末 X 線回折、核磁気共鳴法、X 線光電子分光法などを用いた。担体上の金属活性種の局所構造解析には、高輝度光科学研究センター（JASRI、SPring8）の X 線吸収構造解析（XAFS）を用いた。

触媒反応は、主にガラス製反応器を用い、所定の雰囲気下、液相懸濁系で行った。高圧下での反応には、ステンレス製オートクレ-

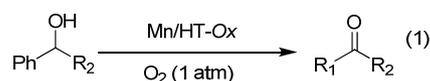
ブを用いた。反応後の生成物の分析、定量は、ガスクロマトグラフ、高速液体クロマトグラフ、ガスクロマトグラフ質量分析計、液体クロマトグラフ質量分析計、核磁気共鳴法などを主に用いた。

4. 研究成果

①アルコール類の酸化反応

アルコールの酸化反応は、医薬・香料中間体として有用なアルデヒド及びケトンなどのカルボニル化合物を合成する重要な反応である。従来のアルコール酸化反応の多くは、酸化剤としてクロム酸や過マンガン酸塩などの有害な重金属試薬が使われており、反応後に副生する大量の重金属廃棄物が大きな問題であった。

本研究では、塩基性層状水酸化物であるハイドロタルサイト（HT）表面にマンガン酸化物粒子を固定化した Mn/HT-Ox が、分子状酸素を酸化剤とするアルコール酸化反応に高い触媒活性を示すことを見出した（eq. 1）。

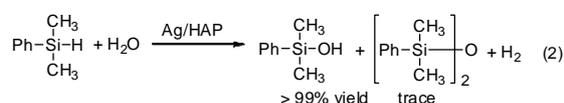


Mn/HT-Ox は、常圧酸素雰囲気下、芳香族アルコールおよび、芳香族アリル型アルコールの酸化反応に高活性を示した。反応後の触媒はろ過により容易に回収することができ、活性の低下なく再使用可能であった。これまで、二酸化マンガンは量論酸化試薬として用いられてきたが、分子状酸素を酸化剤として触媒的に反応する初めての例である。XAFS 解析から反応にはマンガン酸化物の格子酸素が用いられ、低原子価となったマンガン種が分子状酸素により酸化され、再び高原子価のマンガン種が生成する。

②シラン酸化反応

シラノールはシリコン高分子材料のビルディングブロックやカップリング反応の求核剤として用いられる有用な化合物である。シラノールの合成法として、クロロシランの加水分解や量論量の酸化剤を用いたシラン酸化などが用いられているが、反応後に大量の廃棄物を生成する。よりグリーンな合成法として水を酸素源とするシランの酸化が理想的であるが、従来の触媒系ではジシロキサンが副生し、選択的にシラノールを得ることはできなかった。

本研究では、HAP と銀ナノ粒子を組み合わせた Ag/HAP が、有機溶媒フリーの水を酸素源とする芳香族シランの酸化反応に高活性かつ高選択性を示すことを見出した。共生成物として分子状水素が生成した（eq. 2）。

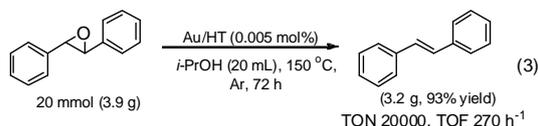


本触媒系では、HAP の高い親水性と Ag ナノ粒子による水の活性化が効果的に作用すると考えられる。また、Ag ナノ粒子はベンゼン環と強く相互作用し、本触媒は HAP 担体と Ag ナノ粒子の協奏触媒作用により、芳香族シランに対して特異的に高い活性を示したと考えられる。さらに、水中での脂肪族シランの選択的酸化反応において、HAP 固定化 Au ナノ粒子 (Au/HAP) が優れた触媒活性を示すことを見出した。

③エポキシドの脱酸素反応

エポキシドからアルケンへの脱酸素反応は、エポキシドのアルケン保護基としての利用や、ビタミン K サイクルにおけるビタミン K の再生に使われており、全合成や生物学分野において重要な反応である。従来、エポキシドの脱酸素反応は、ホスフィンやシラン、ヨウ素、重金属化合物などの有害な量論試剤を用いて行われてきた。これまでに触媒反応系も開発されているが、毒性が高く危険な還元剤を必要とするほか、触媒自身が空気や水分に弱く低活性であった。そのため、よりグリーンで実用的なエポキシドの触媒的脱酸素反応系の開発が望まれている。

Au/HT や Ag/HT 触媒は、安全かつ安価な還元剤であるアルコールを用いたエポキシドからアルケンへの脱酸素反応に高活性を示した (eq. 3)。本触媒系は、種々のエポキシドの脱酸素反応に応用可能であり、相当するアルケンが高収率で得られる。触媒活性種である Au (Ag) ナノ粒子と HT 担体の塩基性との協奏効果により、特異な活性が発現したと考えられる。



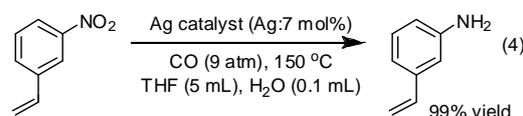
この反応では、アルコール酸化で生じる、金属ヒドリドが鍵となり、脱酸素反応が進行する。この金属-塩基性担体によるヒドリド生成を、水性ガス変換反応条件で検討したところ、エポキシドからオレフィンへの脱酸素に高活性を示すことを見出した。分子状水素を用いた反応系においても、同様にエポキシドの脱酸素に高活性を示すことを見出された。さらに、アミドやスルホキシド、ピリジン-N-オキサイドの脱酸素反応にも高活性を示す。

④芳香族ニトロ基の選択的還元反応

置換芳香族アミンは種々の機能性電子材料の合成中間体として有用である。芳香族アミン誘導体の合成法として、芳香族ニトロ化合物の還元反応は出発原料の合成が容易なことから一般的である。しかし、炭素-炭素

二重結合など還元され得る官能基を有する場合は、ニトロ基のみを選択的に還元することが困難である。

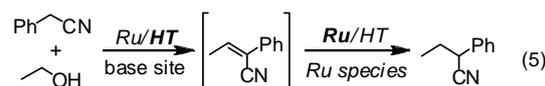
我々は、水と一酸化炭素存在下、Ag/HT が芳香族ニトロ化合物の還元反応に高活性かつ、極めて高いニトロ基還元選択性を示す固体触媒となることを見出した (eq. 4)。本触媒系は、反応後に有害な廃棄物を排出せず、種々の芳香族アミン誘導体の合成において有用な環境調和型触媒系となる。3-ニトロスチレンの還元反応では、ビニルアニリンが収率 99% で得られ、他の水素化生成物は見られない。基質が完全に転化した後、反応を継続してもビニル基の水素化反応は全く進行しない。このような極めて高いニトロ基選択性は、Ag 粒子の特異な触媒作用によるものである。



⑤ワンポット反応

ワンポット合成は、ひとつの反応器 (ワンポット) 内で複数の反応を連続的に進行させ、目的とする生成物を得る合成手法である。通常、複雑な有機化合物はいくつもの反応操作を経由して得られるが、従来法ではひとつの反応が終了するたびに、反応混合物から生成物を単離・精製した後、新たな反応器で次の反応を進行させる必要がある。一方、ワンポット合成ではこれらの煩雑な中間体の単離・精製操作を省くことができるため、反応系全体として必要なエネルギー・時間・溶媒などの反応試剤を最小とし、非常に効率的なプロセスの構築が可能となる。

ルテニウムを固定化したヒドロタルサイトは、アルコールを用いたニトリルのアルキル化反応や、アミノベンジルアルコールからのキノリン合成の優れた触媒となることを見出した (eq. 5)。この反応では、(i) アルコール酸化によるアルデヒド、ケトンの生成、(ii) ヒドロタルサイトによるアルドール型縮合反応、(iii) ルテニウムヒドリドからの水素移行、が連続して進行し、目的生成物である α -アルキル化ニトリルが得られる (eq. 5)。



また、ヒドロタルサイトにロジウムを固定化した Rh/HT が、フェニルほう酸の α -不飽和カルボニル化合物への共役付加に高活性を示すことを見出した (eq. 6)。



従来この反応は、均一系でRh(I)を活性種として進行することが知られている。ハイドロタルサイトに固定化したRhは三価であり、反応中も三価を維持していることがXAFS測定より明らかとなった。ハイドロタルサイトの塩基性を利用すると、(i)アルドール型反応による α,β -不飽和カルボニル化合物の生成と(ii)それに続くフェニルほう酸の共役付加、容易に進行し、ワンポットで目的生成物が得られる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 34 件)

- (1) Ken Motokura; Norifumi Hashimoto; Takayoshi Hara; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Rhodium-Grafted Hydrotalcite Catalyst for Heterogeneous 1,4-Addition Reaction of Organoboron Reagents to Electron Deficient Olefins. *Green Chem.* **in press**. (査読有)
- (2) Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Deoxygenation of Epoxides to Alkenes with Molecular Hydrogen Using Hydrotalcite-supported Gold Catalyst: A Concerted Effect between Basic Sites and Gold Nanoparticles. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, 50, 2986-2989. (査読有)
- (3) Yusuke Mikami; Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient Gold Nanoparticle-Catalyzed Deoxygenation of Amides, Sulfoxides and Pyridine N-Oxides. *Chem. Eur. J.* **2011**, 17, 1768-1772. (査読有)
- (4) Yusuke Mikami; Kaori Ebata; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Reversible Dehydrogenation-Hydrogenation of Tetrahydroquinoline-quinoline Using a supported Cooper Nanoparticle Catalyst. *Heterocycles* **2011**, 82, 1371-1377. (査読有)
- (5) Shoichiro Sueoka; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported monomeric vanadium catalyst for dehydration of amides to form nitriles. *Chem. Commun.* **2010**, 46, 8243-8245. (査読有)
- (6) Kohji Nagashima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Creation of High-Valent Manganese Species on Hydrotalcite and Its Application to Catalytic Aerobic Oxidation of Alcohols. *Green Chem.* **2010**, 12, 2142-2144. (査読有)
- (7) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Yusuke Mikami; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Room Temperature Deoxygenation of Epoxides with CO Catalyzed by Hydrotalcite-supported Gold Nanoparticles in Water. *Chem. Eur. J.* **2010**, 16, 11818-11821. (査読有)
- (8) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Yusuke Mikami; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported Gold and Silver Nanoparticles for Green Catalytic Deoxygenation of Epoxides into Alkenes. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, 49, 5545-5548. (査読有)
- (9) Takato Mitsudome; Keiichi Mizumoto; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Wacker-Type Oxidation of Internal Olefins Using a PdCl₂/N,N-Dimethylacetamide Catalyst System under Copper-Free Reaction Conditions. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, 49, 1238-1240. (査読有)
- (10) Yusuke Mikami; Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Deoxygenation of Styrene Oxides under a CO Atmosphere Using Silver Nanoparticle Catalyst. *Tetrahedron Lett.* **2010**, 51, 5466-5468. (査読有)
- (11) Yusuke Mikami; Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Chemoselective Reduction of Nitroaromatic Compounds Using a Hydrotalcite-supported Silver Nanoparticle Catalyst under a CO Atmosphere. *Chem. Lett.* **2010**, 39, 223-225. (査読有)
- (12) Kiyotomi Kaneda; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa, Development of Heterogeneous Olympic Medal Metal Nanoparticle Catalysts for Environmentally Benign Molecular Transformations Based on the Surface Properties of Hydrotalcite. *Molecules* **2010**, 15, 8988-9007. (査読有)
- (13) Kiyotomi Kaneda; Takayoshi Hara; Norifumi Hashimoto; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa, Creation of a Monomeric Vanadate Species in an Apatite Framework as an

- Active Heterogeneous Base Catalyst for Michael Reactions in Water. *Catal. Today* **2010**, 152, 93–98. (査読有)
- (14) Norifumi Hashimoto; Yusuke Takahashi; Takayoshi Hara; Shogo Shimazu; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Fine Tuning of Pd0 Nanoparticle Formation on Hydroxyapatite and Its Application for Regioselective Quinoline Hydrogenation. *Chem. Lett.* **2010**, 39, 832–834. (査読有)
- (15) Norifumi Hashimoto; Takayoshi Hara; Shogo Shimazu; Yusuke Takahashi; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Complete Hydrodechlorination of DDT and Its Derivatives Using a Hydroxyapatite-Supported Pd Nanoparticle Catalyst. *Chem. Lett.* **2010**, 39, 49–51. (査読有)
- (16) Tomoo Mizugaki; Takayuki Kibata; Kazuya Ota; Takato Mitsudome; Kohki Ebitani; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Controlled Synthesis of Pd Clusters in Subnanometer Range Using Poly(propylene imine) Dendrimers. *Chem. Lett.* **2009**, 38, 1118–1119. (査読有)
- (17) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Efficient Aerobic Oxidation of Alcohols using a Hydrotalcite-Supported Gold Nanoparticle Catalyst. *Adv. Synth. Catal.* **2009**, 351, 1890–1896. (査読有)
- (18) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported Gold Nanoparticle Catalyst for the Selective Oxidation of Silanes to Silanols in Water. *Chem. Commun.* **2009**, 5302–5304. (査読有)
- (19) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported Gold Nanoparticles as a Reusable Catalyst for Synthesis of Lactones from Diols Using Molecular Oxygen as an Oxidant under Mild Conditions. *Green Chem.* **2009**, 11, 793–797. (査読有)
- (20) Takato Mitsudome; Yusuke Mikami; Haruhiko Mori; Shusuke Arita; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported Silver Nanoparticle Catalyst for Selective Hydration of Nitriles to Amides in Water. *Chem. Commun.* **2009**, 3258–3260. (査読有)
- (21) Yusuke Mikami; Kaori Ebata; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Oxidant-Free Lactonization of Diols Using Hydrotalcite-Supported Copper Catalysts. *Heterocycles* **2009**, 80, 855–861. (査読有)
- (22) Kiyotomi Kaneda; Tomoo Mizugaki, Development of Concerto Metal Catalysts Using Apatite Compounds for Green Organic Syntheses. *Energy Environ. Sci.* **2009**, 2, 655–673. (査読有)
- (23) Tomoo Mizugaki; M. Murata; S. Fukubayashi; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, PAMAM dendron-stabilised palladium nanoparticles: effect of generation and peripheral groups on particle size and hydrogenation activity. *Chem. Commun.* **2008**, 241–243. (査読有)
- (24) Takato Mitsudome; Yusuke Mikami; Hisashi Funai; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Oxidant-free alcohol dehydrogenation using a reusable hydrotalcite-supported silver nanoparticle catalyst. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, 47, 138–141. (査読有)
- (25) Takato Mitsudome; Y. Mikami; K. Ebata; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Copper nanoparticles on hydrotalcite as a heterogeneous catalyst for oxidant-free dehydrogenation of alcohols. *Chem. Commun.* **2008**, 4804–4806. (査読有)
- (26) Takato Mitsudome; S. Arita; H. Mori; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Supported silver-nanoparticle-catalyzed highly efficient aqueous oxidation of phenylsilanes to silanols. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, 47, 7938–7940. (査読有)
- [学会発表] (計 109 件)
- (1) Yuusuke Takahashi; Norifumi Hashimoto; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective hydrogenation of quinolines catalyzed by size-controlled Pd nanoparticles supported on hydroxyapatite. In *Pacificchem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (2) Shoichiro Sueoka; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly efficient

- dehydration of amides to nitriles catalyzed by vanadium-grafted hydrotalcite. In *PacificChem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (3) Akifumi Noujima; Yusuke Mikami; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly efficient deoxygenation of epoxides into alkenes catalyzed by hydrotalcite-supported gold and silver nanoparticles. In *PacificChem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (4) Tomoo Mizugaki; Syed Muhammad Al-Amsyar; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Synthesis of alkyl lactates from triose catalyzed by reusable solid acids using montmorillonite. In *PacificChem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (5) Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Yusuke Mikami; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Gold Nanoparticles for Green Catalytic Deoxygenation of Epoxides. In *PacificChem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (6) Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Copper-free Wacker-type Oxidation of Internal Olefins Using PdCl₂-DMA Catalyst System. In *PacificChem2010*, Honolulu, Hawaii, 2010. 12. 18.
- (7) Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient Deoxygenation of Epoxides Using Supported Gold Nanoparticle Catalyst. In *9th Congress on Catalysis and Fine Chemicals*, Zaragoza, Spain, 2010. 9. 15.
- (8) Akifumi Noujima; Yusuke Mikami; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Green Catalytic Deoxygenation of Epoxides Using Hydrotalcite-supported Gold Nanoparticles, . In *3rd International IUPAC Conference on Green Chemistry (ICGC)*, Canada (Ottawa), 2010. 8. 16.
- (9) Yusuke Mikami; Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Completely Chemoselective Reduction of Nitroaromatics Using a Hydrotalcite-Supported Silver Nanoparticle Catalyst. In *3rd International IUPAC Conference on Green Chemistry (ICGC)*, Canada (Ottawa), 2010. 8. 16.
- (10) Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Development of Hydrotalcite-supported Gold Nanoparticle Catalyst for Aerobic Oxidation of Alcohols under Mild Reaction Conditions. In *TOCAT6*, Sapporo, 2010. 7. 20.
- (11) Takato Mitsudome; Keiichi Mizumoto; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Discovery of Copper-free Wacker-type Oxidation of Internal Olefins Using PdCl₂-DMA Catalyst System. In *TOCAT6*, Sapporo, 2010. 7. 20.
- (12) Yusuke Mikami; Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Chemoselective Reduction of Nitroaromatic Compounds Using a Hydrotalcite-Supported Silver-Nanoparticle Catalyst under a CO Atmosphere. In *TOCAT6*, Sapporo, 2010. 7. 20.
- (13) Kiyotomi Kaneda; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa, High Performance Catalysts Using Olympic Metal Nanoparticles for Green Organic Synthesis. In *Frontiers of Chemistry: From Molecules to Systems*, Paris, 2010. 5. 21.
- [図書] (計4件)
- (1) 金田清臣, 固定化触媒. In *最新グリーンケミストリー*, 御園生誠; 村橋俊一, Eds. 講談社: 2011; p 131.
- (2) 金田清臣; 森浩亮; 水垣共雄; 海老谷幸喜, リサイクル型固定化 Pd 触媒の開発. In *クロスカップリング反応 基礎と産業応用*, シーエムシー出版: 2010; pp 180-190.
- (3) Kiyotomi Kaneda; Takato Mitsudome, Design of Well-Defined Active Sites on Crystalline Materials for Liquid-Phase Oxidations. In *Modern Heterogeneous Oxidation Catalysis: design, reactions, and characterization*, Mizuno, N., Ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, 2009; pp 157-183.
- [その他]
ホームページ等
<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/kanedalabo/GSCLabo/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田 清臣 (KANEDA KIYOTOMI)
大阪大学・太陽エネルギー化学研究センター・特任教授
研究者番号：90029554

(2) 研究分担者

實川 浩一郎 (JITSUKAWA KOICHIRO)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：50235793

水垣 共雄 (MIZUGAKI TOMOO)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：50314406

満留 敬人 (MITSUDOME TAKATO)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号：00437360